

철도교의 열차하중 재하방법에 관한 연구

은충기 · 채원규 · 신경철^{*} · 김광일 · 손영현^{**} · 원일석
신구대학 토목과^{*} · 철도기술공사^{**} · 현대기술연구소^{***}

1. 서론

철도교는 도로교와 달리 하중조건이 매우 다양하고 복잡하다. 특히 열차에 관계된 하중들은 일반적인 모델링에 대해 하중을 재하하기가 까다로울 뿐만아니라, 그 해석 결과를 실 구조물의 설계에 반영하기에는 많은 논란이 되고 있다.

이에 본 연구에서는 철도교의 설계시 사용되는 열차에 관계된 하중들의 산정방법과 구조해석 모델링에 이러한 하중들을 재하하는 방법의 변화에 따른 구조해석 결과를 비교, 검토 함으로써, 앞으로 수행되는 철도교의 설계에 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법 및 연구범위

본 연구에서는 기존의 철도교 구조물을 3차원 입체구조로 모델링하여, 열차하중 중 수직방향으로 편심을 갖는 하중들에 대해 편심에 의한 모멘트를 고려하였을 경우와 고려하지 않았을 경우에 대한 구조해석을 각각 수행하여 주요부재에서의 구조해석 결과를 비교, 분석하여, 열차하중 중 수직방향의 편심에 대한 효과에 대해 고찰하고자 한다.

본 연구의 대상 구조물의 연장은 35.950m 이며, 폭은 26.100m 이다.

3. 철도교의 열차하중

3-1. 차량하중(LIVE 4)

$$P = (22 \times 4 \times 0.150) / 35.950 = 0.367 \text{ t/m}$$

$$M = 0.367 \times (0.2 + 0.680) = 0.323 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

1) 외측레일

① 교축직각 수평하중

$$P = 0.367 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 교축직각방향 모멘트

$$M = 0.323 \times 6.0 = 1.938 \text{ t} \cdot \text{m}$$

2) 내측레일(중방향 중앙거더에 작용)

① 교축직각 수평하중

$$P = 0.367 \times 2 = 0.734 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 교축직각방향 모멘트

$$M = 0.323 \times 6.0 \times 2 = 3.876 \text{ t} \cdot \text{m}$$

3-2. 제동 및 시동하중(SB)

1) 제동하중

$$P = 5.990 \times 3.250 \times 0.150 = 2.920 \text{ t/m}$$

$$M = 2.920 \times (0.2 + 0.680 + 2.0) = 8.410 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

2) 시동하중

$$P = (22 \times 8 \times 0.25) / 35.950 = 1.224 \text{ t/m}$$

$$M = 1.224 \times (0.2 + 0.680 + 2.0) = 3.525 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

본 교량은 제동하중에 영향을 받으므로, 제동하중에 대해 설계한다.

3) 외측레일

① 수평하중

$$P = 2.920 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 모멘트

$$M = 8.410 \times 6.0 = 50.460 \text{ t} \cdot \text{m}$$

4) 내측레일

① 수평하중

$$P = 2.920 \times 2 = 5.840 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 모멘트

$$M = 8.410 \times 6.0 \times 2 = 100.920 \text{ t} \cdot \text{m}$$

3-3. 장대레일하중(LR)

$$P = 1.000 \text{ t/m}$$

$$M = 1.0 \times (0.2 + 0.680) = 0.880 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

1) 외측레일

① 수평하중

$$P = 1.000 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 모멘트

$$M = 0.880 \times 6.0 = 5.280 \text{ t} \cdot \text{m}$$

2) 내측레일

① 수평하중

$$P = 1.000 \times 2 = 2.000 \text{ t/m}$$

② 횡방향거더에 작용되는 모멘트

$$M = 0.880 \times 6.0 \times 2 = 10.560 \text{ t} \cdot \text{m}$$

3-4. 풍하중

1) 열차가 없을 때 풍하중(W_1)

$$W_1 = 0.300 \text{ t/m}^2$$

① 방호벽

$$P = W_1 \times h = 0.300 \times (2.844 + 1.0) = 1.153 \text{ t/m}$$

$$M = 1.153 \times (3.844/2 - 0.8) = 1.294 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

② 기둥

$$P = 0.300 \times 1.0 = 0.300 \text{ t/m}$$

2) 열차가 있을 때 풍하중(W_2)

$$W_1 = 0.150 \text{ t/m}^2$$

① 방호벽

$$P = W_1 \times h = 0.150 \times (2.844 + 1.0) = 0.577 \text{ t/m}$$

$$M = 0.577 \times (3.844/2 - 0.8) = 0.647 \text{ t} \cdot \text{m/m}$$

② 기둥

$$P = 0.150 \times 1.0 = 0.150 \text{ t/m}$$

4. 철도교의 하중조합

철도교에서 사용하는 하중조합은 Table 1과 같다.

Table 1. Load combination of railway bridge.

Load Case	D	L	SB	LR	W ₁	W ₂	W _{L1}	W _{L2}	T ₁	T ₂	S _H
COMB 1	1.4	2.0									
COMB 2	1.7	1.7									
COMB 3	1.4				1.4						
COMB 4	1.4					1.4					
COMB 5	1.4	1.4	1.4	1.4	0.7			1.4			
COMB 6	1.4	1.4							1.4		1.4
COMB 7	1.4	1.4								1.4	1.4
COMB 8	1.4				1.4				1.4		1.4
COMB 9	1.4				1.4					1.4	1.4
COMB 10	1.4	1.4	1.4	1.4	0.7			1.4	1.4		1.4
COMB 11	1.4	1.4	1.4	1.4	0.7			1.4		1.4	1.4
COMB 12	1.4	1.4									
COMB 13	1.2				1.2						

5. 구조해석

5. 1. 모델링

본 연구에서는 열차하중 중 수직방향의 편심을 갖는 하중들에 대한 철도교의 단면력의 변화를 알아보기 위하여 대상구조물을 3차원으로 모델링하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 범용 구조해석 프로그램인 SAP 2000 프로그램을 사용하였다.

철도교에 대한 구조해석 시 사용한 모델은 Fig. 1 과 같다.

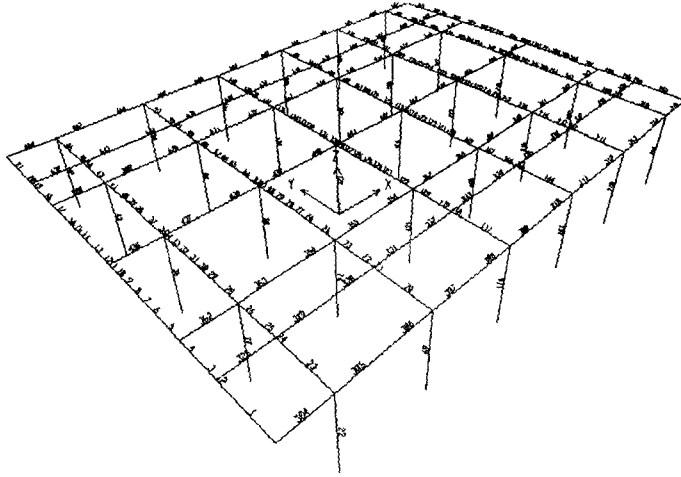


Fig. 1. Modeling of the railway bridge.

5. 2. 철도교의 구조해석 결과

본 연구에서는 철도교에 대한 해석시, 수직방향의 편심을 고려하지 않은 경우 (Model-N)와 수직방향의 편심을 고려한 경우(Model-E)에 대하여 각각 최대단면력을 비교하여 철도교의 해석시 수직방향의 편심이 철도교에 미치는 영향을 비교, 분석하였다. 수직방향의 편심이 고려되지 않은 경우의 구조해석 결과는 Figs 2~4와 같으며, 각 구조부재별 최대 단면력은 Table 1~5에 나타내었다.

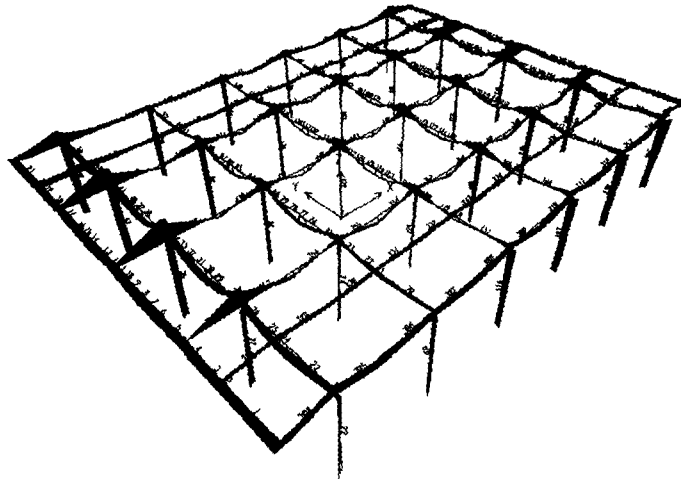


Fig. 2. Bendingmoment diagram.(load combination 1)

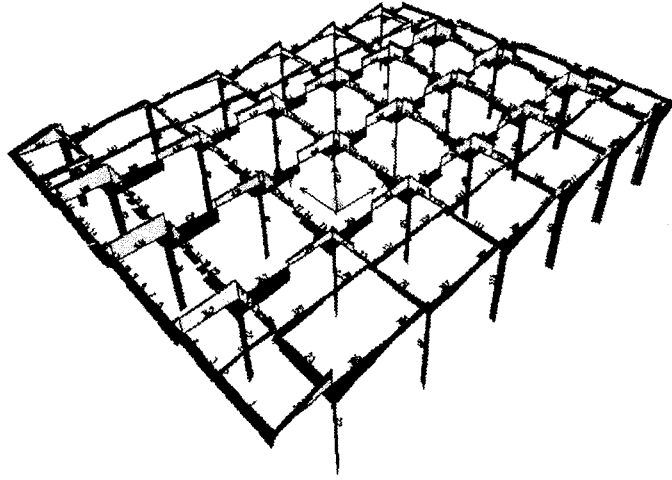


Fig. 3. Shear force diagram.(load combination 1)

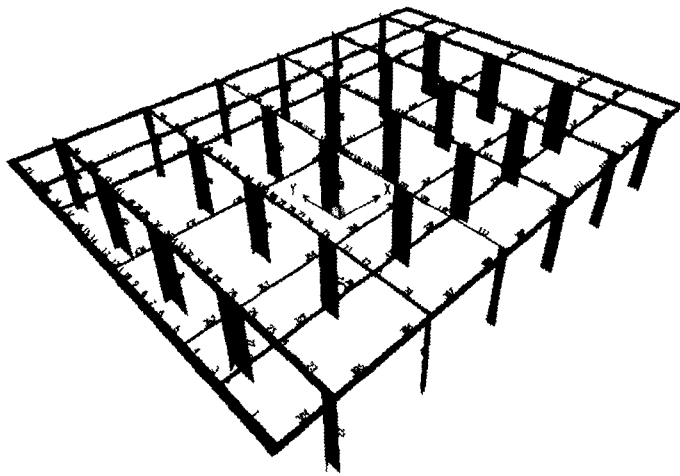


Fig. 4. Axial force moment diagram.(load combination 1)

Table 1. 슬래브 모멘트 집계표

방향	부재번호	위 치	극한모멘트[t·m]		Load Case
			Model-N	Model-E	
종방향	10	지점부	-33.40	-33.27	COMB 1
	70	중앙부	25.79	25.77	COMB 1
횡방향	10	지점부	-33.48	-33.51	COMB 1
	71	중앙부	21.28	21.09	COMB 1

Table 2. 슬래브 전단력 집계표

방향	부재번호	극한전단력 [ton]		Load Case
		Model-N	Model-E	
중방향	29	18.27	18.17	COMB 1
횡방향	115	72.36	71.89	COMB 1

Table 3. 기둥에 대한 단면력 집계

기둥위치	단면력 종류	부재번호	단면력[ton, t · m]		Load Case
			Model-N	Model-E	
외측부	P_{max}	277	858.25	857.67	COMB 2
	M_{max}	42	317.92	293.78	COMB 11
중앙부	P_{max}	35	882.21	878.64	COMB 1
	M_{max}	35	218.77	190.54	COMB 11

Table 4. 거더 모멘트 집계표

거더종류		거더위치	부재번호	극한모멘트[t · m]		Load Case
				Model-N	Model-E	
종거더	지점부	내측	436	-448.63	-446.08	COMB 2
		외측	315	-273.21	-273.28	COMB 2
	중앙부	내측	439	160.80	160.36	COMB 1
		외측	309	94.43	83.99	COMB 2
횡거더	지점부	내측	130	-231.93	-231.21	COMB 1
		외측	287	-52.68	-52.84	COMB 2
	중앙부	내측	133	153.53	149.83	COMB 1
		외측	8	57.22	57.37	COMB 1

Table 5. 거더 전단력 집계표

거더종류	거더위치	부재번호	극한전단력[ton]		Load Case
			Model-N	Model-E	
종거더	내측	508	156.25	155.73	COMB 2
	외측	315	149.03	149.06	COMB 2
횡거더	내측	130	118.96	118.23	COMB 1
	외측	287	46.96	47.01	COMB 2

6. 결론

본 연구에서는 기존의 철도교 구조물을 3차원 입체구조로 모델링하여, 열차하중 중 수직방향으로 편심을 갖는 하중들에 대해 편심에 의한 모멘트를 고려하였을 경우와 고

려하지 않았을 경우에 대한 구조해석을 각각 수행하였으며, 주요부재에서의 구조해석 결과를 비교, 분석하여, 열차하중 중 수직방향의 편심에 대한 효과에 대해 고찰하였다.

본 연구 결과 철도교의 설계시 수직방향의 편심을 갖는 하중은 차량 횡하중, 제동 및 시동하중, 장대레일하중 등이 있었으며, 이들 하중들에 대한 수직방향의 편심을 고려하지 않을 경우의 설계와 수직방향의 편심을 고려할 경우에 대한 구조해석 결과의 비교 분석한 결과, 슬래브와 기둥에서는 수직방향의 편심을 고려하지 않은 경우에 단면력이 다소 크게 나타났으며, 외측부의 종방향거더와 횡방향거더의 경우에는 수직방향의 편심을 고려한 경우의 휨모멘트와 전단력이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 철도교의 설계시 수직방향의 편심을 갖는 하중들에 대해서는 편심을 고려하지 않은 경우와 편심을 고려할 경우에 대한 각각의 구조해석이 필요하며 이들 결과의 비교, 분석이 필요함을 알 수 있었다.